

УДК 625.7

Беленчук О. В., <https://orcid.org/0000-0003-0525-0546>Попович Н. І., <https://orcid.org/0000-0001-5822-2501>Кононенко А. О., <https://orcid.org/0000-0003-4826-0373>*Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»),
м. Київ, Україна.*

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СВІТЛОФОРІВ ТА ЇХНЯ РОЛЬ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Анотація

Вступ. Розвиток автомобільного транспорту неминуче призводить до збільшення інтенсивності дорожнього руху, внаслідок чого виникають проблеми у забезпеченні безпеки та комфорту пересування для учасників дорожнього руху, зокрема на нерегульованих перехрестях і пішохідних переходах, які є зоною підвищеної імовірності виникнення дорожньо-транспортних пригод.

Проблематика. Велика імовірність виникнення ДТП на нерегульованих перехрестях автомобільних доріг і пішохідних переходах потребує вжиття заходів, спрямованих на забезпечення безпеки усіх учасників дорожнього руху, особливо пішоходів і велосипедистів.

Мета. Забезпечення безпеки дорожнього руху, зменшення імовірності виникнення ДТП та забезпечення комфортних умов пересування для учасників дорожнього руху.

Матеріали та методи. Проаналізовано чинні нормативно-правові акти та нормативні документи щодо технічних засобів організування дорожнього руху, зокрема дорожніх світлофорів та статистичну інформацію про дорожньо-транспортні пригоди в Україні.

Результат. У даній статті розглянуто ефективність застосування світлофорів як засобу управління дорожнім рухом та їхню важливу роль у забезпеченні безпеки для всіх учасників дорожнього руху, а також можливість впровадження нових технологій, які можуть підвищити ефективність роботи світлофорів для регулювання дорожнього руху та покращення безпеки на автомобільних дорогах.

Висновки. Світлофори є одним із найважливіших інструментів для управління дорожнім рухом і забезпечення безпеки та підвищення ефективності руху транспорту як в містах, так і на позаміських автомобільних дорогах. Вони регулюють рух транспортних засобів і пішоходів на перехрестях та інших ключових ділянках доріг, допомагаючи уникнути конфліктних ситуацій і знижуючи ризик виникнення дорожньо-транспортних пригод. Світлофори дозволяють організувати впорядковану черговість руху, тим самим зменшуючи ризик виникнення зіткнень і наїздів на пішоходів.

Ключові слова: безпека дорожнього руху, велосипедист, дорожньо-транспортна пригода, пішохід, світлофор.

Вступ

Відомо, що автомобільний транспорт, як складова транспортної системи, є найбільш зручним і ефективним видом транспорту. Проте автомобілізація має й негативні наслідки, оскільки зростання автопарку та обсягу автомобільних перевезень призводять до постійного зростання інтенсивності дорожнього руху, а вулично-дорожня мережа багатьох міст вже вичерпала резерви пропускної здатності і знаходиться в умовах постійного утворення заторів, створення аварійних ситуацій під час пропуску транспортних і пішохідних потоків.

За даними [1] щороку на дорогах в усьому світі гине близько 1,3 мільйона людей і близько 50 мільйонів отримують травми внаслідок дорожньо-транспортних пригод (далі — ДТП). Більшість

цих випадків припадає на країни з низьким і середнім рівнем доходу і часто це стосується найбільш соціально-економічно активних громадян. Травми внаслідок ДТП є головною причиною смертності у світі серед дітей і молоді віком від 15 до 29 років. Без термінових заходів прогнозується, що до 2030 року дорожньо-транспортні пригоди посядуть сьоме місце серед основних причин смертності для всіх вікових категорій.

За даними [2] порушення правил проїзду перехресть займає третє місце серед усіх порушень правил дорожнього руху (далі — ПДР) в Україні за 2023 рік, які спричинили ДТП із загиблими та / або травмованими (рис. 1).

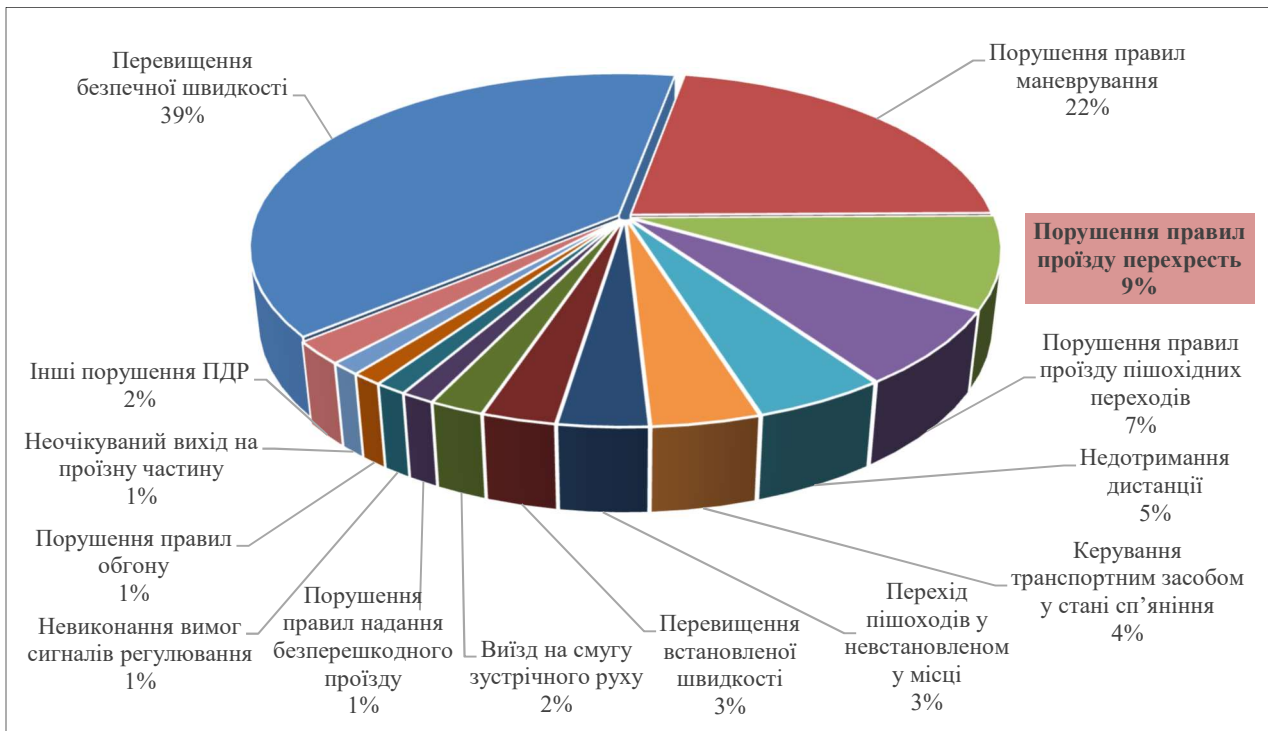


Рисунок 1 — Розподіл порушень ПДР під час виникнення ДТП із загиблими та / або травмованими в Україні за 2023 рік

В умовах зростаючої урбанізації та постійного збільшення кількості транспортних засобів на автомобільних дорогах ефективним засобом зниження рівня ДТП та тяжкості їх наслідків є застосування технічних засобів організування дорожнього руху, зокрема дорожніх світлофорів. Світлофори є невід'ємною частиною дорожньої інфраструктури в усьому світі, відіграючи ключову роль у регулюванні дорожнього руху та забезпеченні плавності руху як в містах, так і на позаміських автомобільних дорогах. Їх ефективне функціонування є ключовим елементом сучасної транспортної інфраструктури, який дозволяє мінімізувати ризики виникнення аварійних ситуацій, зменшити час очікування на перехрестях і покращити загальну екологічну ситуацію в містах, знижуючи викиди шкідливих речовин у повітря.

Основна частина

Світлофори є невід'ємною частиною дорожньої інфраструктури в усьому світі, відіграючи ключову роль у регулюванні дорожнього руху та забезпеченні безпеки на дорогах. Їхнє значення важко переоцінити, адже вони сприяють зниженню кількості дорожньо-транспортних пригод, запобігають виникненню заторів і полегшують рух пішоходів і велосипедистів у міських

умовах. З моменту своєї появи світлофори зазнали значної еволюції — від простих механічних пристроїв до сучасних інтелектуальних систем, здатних адаптуватися до змін дорожньої ситуації в реальному часі.

Світлофор — це пристрій оптичної сигналізації, призначений для інформування та регулювання руху транспортних засобів і пішоходів на автомобільних дорогах і залізничних переїздах.

Перший світлофор був винайдений Джеймсом Найтом і був встановлений у 1868 році в Лондоні біля будівлі британського парламенту. Керувався він вручну, мав два семафорних крила, а в темний час доби підсвічувався газовим ліхтарем. На жаль, на початку 1869 року ліхтар пристрою вибухнув і поранив поліцейського, який керував світлофором. Після цього випадку про світлофор забули майже на 50 років.

У 1910-му було розроблено та запатентовано перший автоматичний світлофорний пристрій. Попередник сучасних пристроїв був встановлений 5 серпня 1914 року в Америці в місті Клівленд. Він мав червоний і зелений сигнал, а під час перемикання видавав звуковий сигнал. Системою керував поліцейський, який сидів у скляній будці на перехресті.

Триколірний світлофор у тому вигляді, до якого ми звикли, із використанням жовтого ліхтаря, був встановлений у 1920 році у Детройті та Нью-Йорку. З плином часу світлофори набули значного поширення в Америці та Європі. В Україні перший світлофор встановили у 1936 році у Харкові.

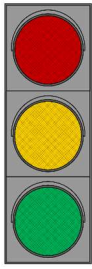
Практично одночасно з появою на автомобільних дорогах перших світлофорів в кінці XIX століття постало завдання вибудувати управління сигналами таким чином, щоб усім учасникам руху (і водіям, і пішоходам) не доводилося чекати своєї черги на перехресті занадто довго. Спочатку світлофори знаходилися на ручному керуванні — поліцейський перемикав сигнали вручну або за допомогою спеціального пульта управління. Розвиток електроніки дозволив замінити людей таймерами і реле: тепер вони перемикали фази світлофорів — поєднання заборонних сигналів для одних напрямків і дозвільних — для інших. Для кожного світлофора існував свій розклад перемикачів (тобто своя тривалість кожної фази), який з часом навчилися коригувати для особливих випадків — у години пік або вночі [3].

Основні вимоги до світлофорного регулювання, зокрема й розташування сигналів світлофора, передбачені Конвенцією про дорожні знаки і сигнали [4], відповідно до якої в Україні розроблено національний стандарт ДСТУ 4092:202X «Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні умови» на заміну ДСТУ 4092:2002 «Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосовування та вимоги безпеки». Згідно з розробленим ДСТУ 4092:202X світлофори за призначенням поділяють на транспортні і пішохідні. Запропоновано розрізняти дев'ять типів транспортних світлофорів, а саме:

✧ світлофори типу 1 мають три кольорові сигнали круглої форми діаметром 200 мм або 300 мм, розташовані вертикально (червоний, жовтий, зелений). Як виняток, дозволено горизонтальне розташування сигналів. Додаткові секції із зображеннями на них стрілками застосовують тільки з типом 1 вертикального розташування. У цьому випадку світлофор обладнують прямокутним екраном білого кольору, що поліпшує розпізнавання додаткових секцій;

✧ світлофори типу 2, на відміну від попередніх, застосовують для регулювання руху за визначеними напрямками (відповідно смугам руху) при повністю безконфліктному регулюванні. На всі лінзи цих світлофорів наносять контури стрілок, відповідно до напрямків регулювання, а знизу розміщують таблички білого кольору із зображенням стрілок, що вказують ті ж самі напрямки;

✧ світлофори типу 3 із сигналами діаметром 100 мм застосовують як світлофори-повторювачі для типу 1 у разі, якщо їх видимість ускладнена для водія першого транспортного засобу, що зупинився біля стоп-лінії на крайній правій смузі проїзної частини даного напрямку (рис. 2);



Світлофор типу 1
з діаметром сигналів 300 мм



Світлофор типу 2
з діаметром сигналів 200 мм



Світлофор типу 3
з діаметром сигналів 100 мм

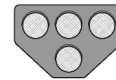
Рисунок 2 — Приклад зображення світлофорів першого, другого та третього типів з різними діаметрами сигналів

✧ світлофори типу 4 (реверсивні) застосовують для регулювання в'їзду на окремі смуги проїзної частини, динамічного розподілу смуг руху — зміна напрямку смуги руху на ділянці залежно від переважаючої інтенсивності руху одного напрямку, регулювання пропускну здатності ділянки — відкриття чи закриття руху по смугах, адаптації до мінливих навантаж на фіксованих контрольно-пропускних пунктах (наприклад, на прикордонних переходах, поромних портах і пунктах збору плати за користування дорогою);

✧ світлофори типу 5 застосовуються тільки для безконфліктного регулювання руху трамваїв, а також маршрутних транспортних засобів, що рухаються спеціально виділеною смугою (**рис. 3**);



Світлофор типу 4



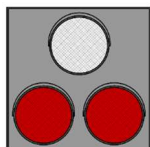
Світлофор типу 5

Рисунок 3 — Приклад зображення світлофорів типу чотири і п'ять

✧ світлофори типу 6 застосовують для регулювання дорожнього руху через залізничні переїзди, розвідні мости, причали поромних переправ, у місцях виїзду на дорогу спеціальних транспортних засобів (оперативних, дорожньо-експлуатаційних і комунальних служб);

✧ світлофори типу 7 застосовують для позначення небезпечних нерегульованих перехресть, пішохідних переходів та / або велосипедних переїздів, а також завчасно перед регульованим перехрестям та / або регульованим пішохідним переходом за межами населених пунктів;

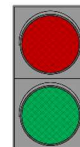
✧ світлофори типу 8 застосовують для регулювання руху на внутрішніх територіях підприємств, організацій тощо, а також у місцях звуження проїзної частини, коли організовано по черговий рух однією смугою руху, зокрема у місцях проведення дорожніх робіт. Під час по чергового руху однією смугою в двох напрямках (**рис. 4**);



Світлофор типу 6



Світлофор типу 7



Світлофор типу 8

Рисунок 4 — Приклад зображення світлофорів шостого, сьомого і восьмого типів

✧ світлофори типу 9 — світлофори для велосипедистів із сигналами діаметром 100 мм або 200 мм, які застосовують для регулювання руху велосипедистів у місцях перетину велосипедної

доріжки або велосипедної смуги з проїзною частиною дороги чи регульованим пішохідним переходом, а також за необхідності введення окремої фази регулювання велосипедного руху або у разі різної тривалості зелених тактів для основного руху транспорту та велосипедного руху.

Також запропоновано розрізняти два типи пішохідних світлофорів із сигналами діаметром 200 мм або 300 мм, які застосовують для регулювання руху пішоходів на пішохідних переходах (**рис. 5**). Зокрема, пішохідні світлофори типу 2 треба застосовувати для регулювання руху пішоходів і велосипедистів через проїзну частину у випадку, коли суміжно з пішохідним переходом розташовано велосипедний переїзд.



Транспортний світлофор типу 9
з діаметром сигналів 100 мм



Пішохідний світлофор типу 1
з діаметром сигналів 200 мм



Пішохідний світлофор типу 2
з діаметром сигналів 200 мм

Рисунок 5 — Приклад зображення транспортних світлофорів типу дев'ять та пішохідних світлофорів

Критерії впровадження світлофорної сигналізації враховують інтенсивність транспортних потоків, що перетинаються, їх сумарні затримки і ступінь небезпеки руху. Крім того, світлофорне регулювання використовують у разі великої інтенсивності пішохідних потоків до місць масового відвідування (кінотеатрів, стадіонів, великих торгових і промислових об'єктів тощо), а також у зоні розташування навчальних закладів, де без світлофорної сигналізації неможливо забезпечити безпечний рух пішоходів.

Традиційні світлофорні системи працюють за заздалегідь встановленими режимами, які змінюються на основі фіксованого часу. Цей підхід забезпечує контроль над транспортними потоками на перехрестях, дозволяючи розділяти рух у протилежних напрямках і створювати умови для безпечного перетину дороги пішоходами. Основні світлофорні сигнали (червоний, жовтий та зелений) чітко регулюють дії водіїв і пішоходів, знижуючи можливість виникнення хаосу на дорогах.

Однак із розвитком технологій, все більшої популярності набувають адаптивні світлофорні системи, які працюють на основі аналізу поточної дорожньої ситуації в реальному часі. Адаптивні світлофорні системи застосовують датчики, камери та інші технології для збирання інформації про інтенсивність руху на певних ділянках дороги. Ці системи використовують штучний інтелект та алгоритми для того, щоб автоматично змінювати режими роботи світлофорів відповідно до поточної ситуації на дорозі. Наприклад, якщо на перехресті утворився великий затор у певному напрямку, система може подовжити зелений сигнал для цього потоку, зменшуючи час затримки для водіїв.

Такі системи мають численні переваги, зокрема:

- оптимізація пропускної здатності доріг. Адаптивні системи допомагають краще керувати транспортними потоками, зменшуючи кількість заторів і покращуючи швидкість руху на дорогах;
- зниження затримок і часу очікування. Система може змінювати тривалість світлофорних сигналів залежно від поточної ситуації, що дозволяє скоротити час очікування для водіїв, особливо в години пік;
- підвищення безпеки на перехрестях. Завдяки адаптивному підходу, світлофорні системи можуть швидко реагувати на зміни дорожньої обстановки, запобігаючи виникненню ДТП та небезпечним ситуаціям на дорогах;
- економія палива та зниження викидів. Менше часу, проведеного в заторах, означає скорочення споживання палива та зменшення шкідливих викидів у атмосферу, що сприяє покращенню екологічної ситуації.

Сучасні системи також дозволяють інтегрувати так звані «зелені хвилі» — спеціальні послідовності налаштування світлофорів, які синхронізують їх роботу таким чином, щоб автомобілі могли проїжджати декілька перехресть без зупинки. Це особливо ефективно на основних магістралях, де необхідно забезпечити безперервний рух під час високої інтенсивності транспортного потоку.

Світлофори не тільки забезпечують контроль за рухом транспортних засобів, але й значно підвищують рівень безпеки на дорогах. Завдяки правильному розміщенню світлофорів, зокрема на перехрестях із високою інтенсивністю руху або в районах, де часто трапляються ДТП, можна суттєво знизити імовірність їх виникнення. Світлофори відіграють ключову роль у захисті найбільш уразливих учасників дорожнього руху, а саме пішоходів, зокрема дітей, і велосипедистів. Ці категорії учасників дорожнього руху є найменш захищеними у випадку аварій та часто є жертвами ДТП на перехрестях чи пішохідних переходах без світлофорного регулювання.

Пішохідні переходи з регульованими світлофорами суттєво знижують ризик наїзду на пішоходів, особливо в містах із великою кількістю населення, поблизу шкіл, лікарень і дитячих садків. Світлофори дозволяють пішоходам безпечно переходити дорогу у чітко визначений час, коли всі автомобілі з конфліктного напрямку зупиняються. Також із розвитком велосипедного руху в містах наявність окремих світлофорів для велосипедистів сприяє підвищенню їхньої безпеки. Окремі фази для велосипедистів дозволяють їм безпечно пересуватися по перехрестях без ризику конфлікту з автомобілями.

Світлофори також впливають на соціально-економічні аспекти життя громадян. Вони зменшують витрати часу водіїв і пішоходів, покращують роботу громадського транспорту та підвищують загальний рівень комфорту пересування в місті. Завдяки використанню сучасних технологій, таких як адаптивні світлофорні системи, штучний інтелект та автоматизовані датчики, міста можуть ефективно управляти дорожнім рухом, враховуючи актуальні умови та потреби учасників руху в реальному часі.

Однак неправильне налаштування або технічні несправності світлофорів можуть призвести до серйозних проблем, таких як затори через невірний розподіл фаз світлофорного регулювання, небезпека для пішоходів через недостатній час для перетину дороги, порушення в роботі світлофорів через технічні несправності та неефективне управління рухом, якщо світлофори не адаптовані до поточних дорожніх обставин. Це підкреслює важливість регулярного технічного обслуговування та належного налаштування світлофорів для забезпечення безпеки та ефективності руху на автомобільних дорогах.

Висновки

Світлофори є одним із найважливіших інструментів для управління дорожнім рухом і забезпечення безпеки та підвищення ефективності руху транспорту як в містах, так і на позаміських автомобільних дорогах. Вони регулюють рух транспортних засобів і пішоходів на перехрестях та інших ключових ділянках доріг, допомагаючи уникнути конфліктних ситуацій і знижуючи ризик виникнення дорожньо-транспортних пригод. Світлофори дозволяють організувати впорядковану черговість руху, тим самим зменшуючи ризик виникнення зіткнень та наїздів на пішоходів.

Проте, для забезпечення їхньої максимальної ефективності, необхідно постійно удосконалювати технології та підходи до їхнього використання, враховуючи зміни в умовах дорожнього руху і впровадження новітніх технологій. Застосування адаптивних світлофорних систем і сучасних технологій управління дорожнім рухом є критично важливим елементом розвитку безпечної та ефективної транспортної інфраструктури в містах.

Таким чином, ефективність світлофорних систем стає не лише питанням дорожньої безпеки, але й важливим елементом стратегії розвитку міської інфраструктури та покращення якості життя мешканців.

Список літератури

1. Road Safety Manual. Recommendations from the World Road Association (PIARC). (Посібник з безпеки дорожнього руху. Рекомендації від Світової дорожньої асоціації). PIARC Technical

Committee on road safety (C13). URL: <https://roadsafety.piarc.org/en/strategic-global-perspective/scope-road-safety-problem> (дата звернення: 10.09.2024).

2. Статистичні дані про аварійність Департаменту патрульної поліції Національної поліції України. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> (дата звернення 10.09.2024).

3. Міжнародний день світлофора. Liga.net, серпень 2017. URL: https://file.liga.net/ua/holidays/mejdynarodnii_den_svetofora (дата звернення: 10.09.2024).

4. Конвенція про дорожні знаки і сигнали. Відень, 1968. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_902#Text (дата звернення 10.09.2024).

References

1. Road Safety Manual. Recommendations from the World Road Association (PIARC). PIARC Technical Committee on road safety (C13). URL: <https://roadsafety.piarc.org/en/strategic-global-perspective/scope-road-safety-problem> (Last accessed: 10.09.2024) [in English].

2. Statistical data on the accident rate of the Patrol Police Department of the National Police of Ukraine. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> (Last accessed: 10.09.2024) [in Ukrainian].

3. Mizhnarodnyi den svitlofora. Liga.net, August, 2017. URL: https://file.liga.net/ua/holidays/mejdynarodnii_den_svetofora (Last accessed: 10.09.2024) [in Ukrainian].

4. Convention on road signs and signals. Vienna, 1968. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_902#Text (Last accessed: 10.09.2024) [in Ukrainian].

Olga Belenchuk, <https://orcid.org/0000-0003-0525-0546>

Nataliya Popovych, <https://orcid.org/0000-0001-5822-2501>

Alla Kononenko, <https://orcid.org/0000-0003-4826-0373>

State enterprise "National Institute for Development Infrastructure" (SE "NIDI"), Kyiv, Ukraine

EFFECTIVENESS OF TRAFFIC LIGHTS AND THEIR ROLE IN ENSURING ROAD SAFETY

Abstract

Introduction. The development of motor transport inevitably leads to an increase in traffic intensity, resulting in challenges related to ensuring the safety and comfort of road users, particularly at uncontrolled intersections and pedestrian crossings, which are areas of heightened risk for road accidents.

Problem statement. The high likelihood of traffic accidents occurring at uncontrolled road intersections and pedestrian crossings necessitates the implementation of measures aimed at ensuring the safety of all road users, particularly pedestrians and cyclists.

Purpose. Ensuring road safety, reducing the likelihood of traffic accidents, and providing comfortable travel conditions for road users.

Materials and methods. The current regulatory acts and normative documents regarding traffic control devices, particularly traffic lights, as well as statistical information on road accidents in Ukraine, have been analyzed.

Results. This article examines the effectiveness of traffic lights as a means of traffic management and their crucial role in ensuring safety for all road users. It also explores the potential implementation of new technologies that can enhance the efficiency of traffic lights in regulating traffic flow and improving road safety.

Conclusions. Traffic lights are one of the most essential tools for managing traffic and ensuring safety, as well as enhancing the efficiency of transportation both in cities and on highways. They regulate the movement of vehicles and pedestrians at intersections and other critical road sections, helping to prevent conflicts and reduce the risk of traffic accidents. Traffic lights help organize a structured flow of movement, thereby reducing the likelihood of collisions and pedestrian-related incidents.

Keywords: road safety, cyclist, traffic accident, pedestrian, traffic light.